

Dimensionnement de cellule de réseau réflecteur par synthèse de filtre

A. Grossetête¹, E. Fourn¹, R. Gillard¹

¹ : Institut d'Electronique et des Télécommunications de Rennes, IETR UMR-CNRS 6164, INSA de Rennes, 20 avenue des Buttes de Coësmes, 35708 Rennes, France
alexandre.grossetete@insa-rennes.fr

Résumé

Cette communication présente une méthode permettant de dimensionner une cellule d'antenne réseau réflecteur monocouche en partant de son circuit équivalent. Cette méthode montre qu'il est possible de convertir une spécification de phase en réflexion en entrée du modèle dipolaire de la cellule en une spécification d'amplitude en transmission sur un modèle quadripolaire symétrique. La synthèse de ce modèle quadripolaire peut dès lors s'effectuer par l'utilisation des techniques de filtrage classique.

1. Introduction

L'antenne réseau réflecteur offre des performances attrayantes pour de nombreuses applications notamment au niveau du poids, de l'encombrement et de la simplicité de fabrication [1]. Elle se compose d'une ouverture rayonnante sur laquelle est imprimée un réseau de motifs métalliques : les cellules déphaseuses. Leur rôle est de contrôler la phase en réflexion d'un champ incident provenant d'une source primaire déportée.

La synthèse d'une antenne réseau réflecteur consiste à contrôler la réflexion en phase sur chaque cellule afin d'obtenir une loi de phase souhaitée sur l'ouverture rayonnante. Il est donc nécessaire de dimensionner individuellement chaque cellule du réseau. Or, les outils utilisés pour synthétiser un réseau réflecteur sont majoritairement des logiciels de simulation électromagnétique et conduisent à des temps de calcul prohibitifs.

Pour s'affranchir de cette contrainte, une solution consiste à dimensionner chaque cellule à partir de son modèle circuit comme cela s'opère dans le cas des surfaces sélectives en fréquence ou les réseaux transmetteurs [2]-[3]. Dans [3], une cellule d'antenne réseau transmetteur multicouche est ainsi assimilée à un circuit quadripolaire symétrique. La spécification de la phase en transmission est alors traduite directement en une spécification d'amplitude en transmission. Cette dernière est dès lors synthétisable par les techniques classiques de filtrage. Les dimensions physiques de la cellule sont ensuite déduites.

Dans cette communication, nous présentons une méthode de dimensionnement d'une cellule réseau réflecteur monocouche en s'inspirant de [3]. Le principe consiste ici à convertir des spécifications sur la phase en entrée d'un circuit dipolaire, correspondant à la cellule déphaseuse, en une spécification sur l'amplitude en transmission d'un circuit quadripolaire (cf. Fig.1).

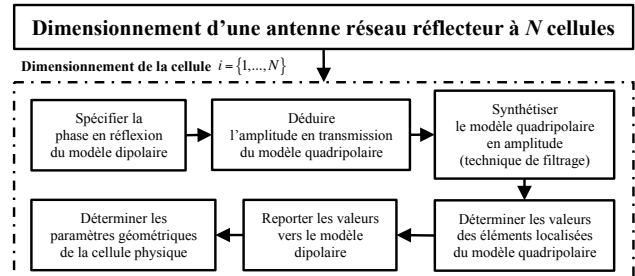


Figure 1: Principe de la méthode de dimensionnement d'une cellule réseau réflecteur.

2. Conversion du circuit dipolaire vers un circuit quadripolaire

La figure 2a illustre la topologie d'une cellule de réseau réflecteur monocouche. Elle se compose d'une seule couche de diélectrique d'épaisseur h , d'un motif métallique imprimé sur sa face supérieure et d'un plan de masse métallique imprimé sur sa face inférieure. Son modèle circuit est représenté par un dipôle (Fig. 2b). La couche diélectrique est modélisée par un tronçon de ligne de transmission de longueur h . Le motif métallique est représenté par une admittance imaginaire pure Y_{motif} et le plan de masse par un court-circuit. L'objectif de la synthèse proposée est de déterminer Y_{motif} de façon à ce que la phase de l'onde réfléchie respecte une spécification donnée $\varphi_{11}(f)$.

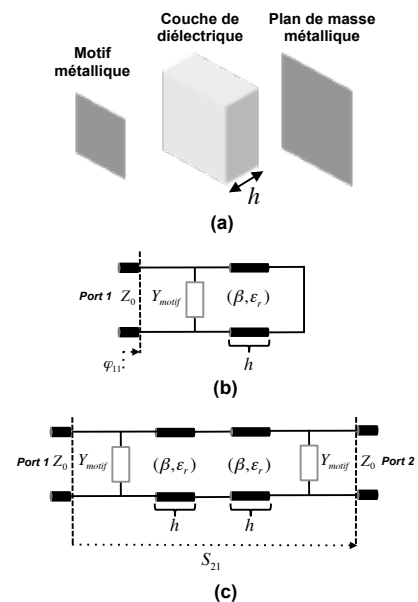


Figure 2: Modèle physique (a), circuit dipolaire (b) et circuit quadripolaire (c) d'une cellule de réseau réflecteur.

La figure 2c représente le circuit quadripolaire symétrique utilisé pour rendre cette synthèse compatible avec une synthèse de filtre classique. La spécification sur la phase φ_{11} en entrée du modèle circuit dipolaire (Fig. 2b) est ainsi converti en une spécification sur l'amplitude en transmission S_{21} du modèle quadripolaire symétrique par la relation (1).

$$|S_{21}(\varphi_{11}(f))| = \left| \sin \left\{ \frac{2 \operatorname{atan} \left[\tan \left(\frac{\varphi_{11}(f)}{2} \right) - \frac{2}{\sin(2\beta h)} \right] - \varphi_{11}(f)}{2} \right\} \right| \quad (1)$$

3. Analyse fréquentielle de la réponse en amplitude pour différentes lois en phase

La figure 3a illustre un ensemble de spécifications en phase linéaire appliqué en entrée du modèle circuit dipolaire. La valeur de la phase φ_{11f_0} à $f_0 = 12,5 \text{ GHz}$ augmente de 0° à 180° avec une dispersion constante $\Delta\varphi_{11} = 30^\circ / \text{GHz}$.

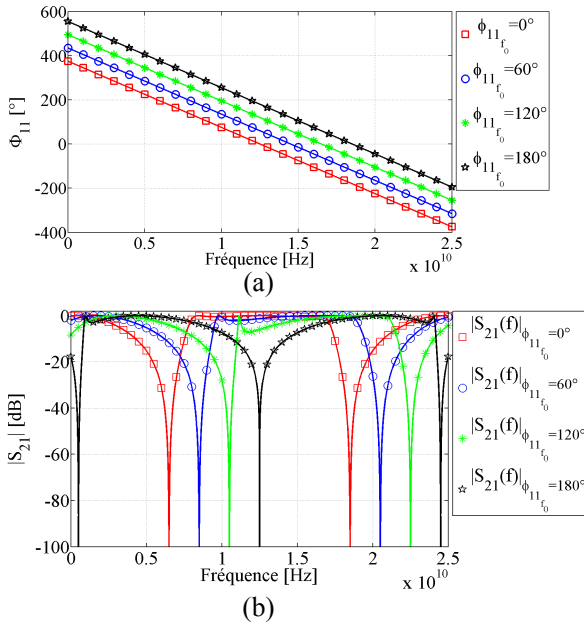


Figure 3: (a) Variation de la phase en réflexion pour différentes valeurs de φ_{11f_0} ($\Delta\varphi_{11} = 30^\circ / \text{GHz}$); (b) Spécifications associées sur l'amplitude en transmission.

La figure 3b illustre les spécifications sur l'amplitude en transmission correspondantes à appliquer sur le modèle circuit quadripolaire. Pour $\varphi_{11f_0} = 0^\circ$ l'amplitude en transmission présente une allure passe-bande symétrique centrée à f_0 . Elle montre des ondulations dans la bande-passante ainsi que deux zéros de transmission dans les bandes rejetées. Ces derniers apparaissent lorsque $\varphi_{11} = \pm 180^\circ$. Lorsque φ_{11f_0} varie, la réponse en amplitude se décale vers les hautes fréquences si φ_{11f_0} augmente ou vers les basses fréquences si φ_{11f_0} diminue. En se plaçant dans la bande d'intérêt (10,5 – 14,5 GHz), on obtient au final un ensemble de réponses en amplitude pouvant être approximées par des filtres de types passe-bande ou coupe-bande ; les cas extrêmes $\varphi_{11f_0} = 0^\circ$ et

$\varphi_{11f_0} = \pm 180^\circ$ conduisant à des réponses symétriques de type passe-bande ou coupe-bande respectivement.

La figure 4 montre l'influence de la dispersion $\Delta\varphi_{11}$ sur la largeur de la bande-passante dans le cas où $\varphi_{11f_0} = 0^\circ$. On remarque que la bande-passante diminue à mesure que $\Delta\varphi_{11}$ augmente.

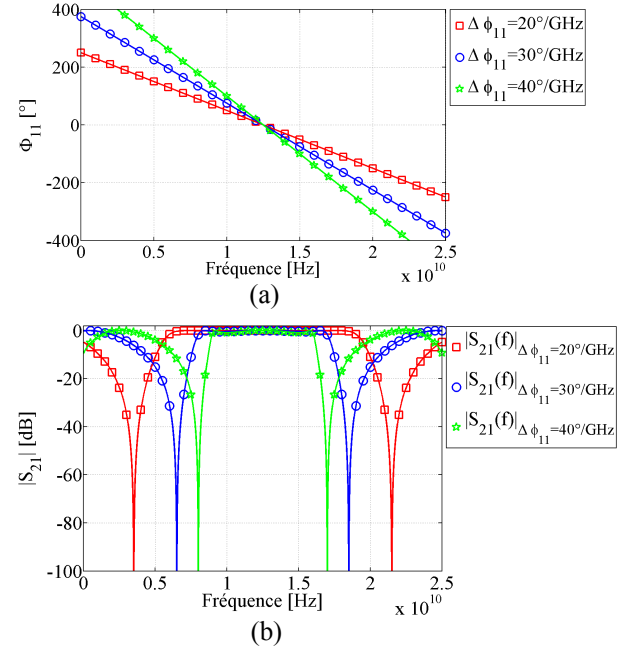


Figure 4: (a) Variation de la phase en réflexion pour différentes dispersion $\Delta\varphi_{11}$ ($\varphi_{11f_0} = 0^\circ$); (b) Spécifications associées sur l'amplitude en transmission.

4. Conclusion

Dans cette communication, une méthode de dimensionnement d'une cellule d'antenne réseau réflecteur monocouche a été proposée. Cette méthode offre l'avantage de convertir une spécification sur la phase en réflexion d'un circuit dipolaire en une spécification sur l'amplitude en transmission d'un circuit quadripolaire symétrique. Deux études paramétriques ont été menées respectivement sur les paramètres φ_{11f_0} et $\Delta\varphi_{11}$ de la spécification de phase en réflexion. Les résultats obtenus sur la spécification en amplitude en transmission ont permis de constater que la réponse s'apparente à un filtre passe-bande ou coupe-bande suivant la valeur de φ_{11} . De ce fait, la synthèse du circuit quadripolaire, et donc de Y_{motif} , peut dès lors s'effectuer par des techniques de filtrage classiques (Tchebychev, elliptique, etc.).

5. Bibliographie

- [1] J. Huang and J.A. Encinar, *Reflectarray Antennas*, Wiley Inter-Science, 2008.
- [2] M. Al-Joumayly and N. Behdad, "A Generalized Method for Synthesizing Low-Profile, Band-Pass Frequency Selective Surfaces With Non-Resonant Constituting Elements," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 58, no. 7, Dec 2010.
- [3] M. Al-Joumayly. and N. Behdad, "Wideband Planar Microwave Lenses Using Sub-Wavelength Spatial Phase Shifters," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 59, no. 12, Dec 2011.